

**В. Г. ШКУРУПИЙ**, канд. техн. наук, Харьков, Украина

## **ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ**

Наведено результати досліджень механізму формування поверхневого шару при обробці різанням.

Приведены результаты исследований механизма формирования поверхностного слоя при обработке резанием.

Results of researches of the mechanism of formation of a superficial layer are resulted at processing by cutting.

*Введение и постановка задачи.* Изучению параметров качества поверхности после абразивной обработки в научно-технической литературе уделено большое внимание [1]. Однако, при оценке состояния поверхностного слоя деталей, подвергнутых финишной обработке, зачастую очень сложно оценить параметры шероховатости поверхности. В особой мере это относится к оценке высотных параметров шероховатости поверхности  $R_a$  и  $R_z$ , а также критерия шероховатости поверхности  $F$ , т.к. при использовании метода ощупывания, разрушения от иглы профилометра соизмеримы, а иногда и больше измеряемых неровностей на поверхности. Поэтому использование совместной оценки оптических свойств, работы выхода электронов и параметров шероховатости обработанной поверхности позволит глубже изучить механизм формирования поверхностного слоя при обработке резанием. Целью работы является изучение механизма формирования поверхностного слоя при обработке резанием.

*Содержание работы.* Исследования влияния критерия шероховатости на поглощательную способность поверхности стальных деталей после обработки резанием рассмотрены нами в работах [2, 3]. Исследования по технологическому обеспечению заданных оптических свойств поверхностей деталей из алюминиевых сплавов подробно рассмотрены в работе [4]. На рис.1 приведены зависимости между коэффициентом излучения, критерием шероховатости поверхности и

значениями контактной разности потенциалов (КРП) на поверхности деталей из алюминиевых сплавов после различных методов их обработки.

Как показали исследования геометрических характеристик поверхностей деталей щуповыми методами и растровой электронной микроскопии (рис. 2, рис. 3 и рис. 4) на предварительных стадиях обработка с применением фрезерования, точения с использованием традиционных инструментальных материалов (сталь Р18, твердый сплав и др.) гидроабразивной обработки и обработки металлической дробью, изменение оптических характеристик связано с изменением критерия шероховатости поверхности. Применение финишных методов обработки приводит к образованию поверхностей, величина критерия шероховатости которых приближается к 1 и изменения оптических характеристик связано с изменением КРП. Поверхности деталей машин, имеющие значение  $F$ , близкое к единице, следует отнести к высокоотражательным или поверхностям, имеющим низкую поглощательную способность. Исследования топологии поверхности деталей после обработки резанием позволили изучить характер ее изменения в зависимости от вида обработки. Максимальные значения были достигнуты на поверхности деталей после шлифования, гидроабразивной обработки и обработки металлической дробью.

На профиле шероховатости образуются субмикронеровности значительных размеров сравнимых по величине с длинами волн падающего излучения (максимальная величина 0,9 мкм). Топология поверхностей шлифованных деталей отличается от топологии поверхности полированных деталей. Исследование формирования геометрических характеристик на полированных поверхностях показало, что форма и размеры неровностей таких поверхностей отличаются от формы и размеров неровностей после шлифования, гидроабразивной обработки, обработки металлической дробью.

При полировании наряду с процессом резания происходит процесс пластического деформирования, который приводит к сглаживанию неровностей и перетеканию металла из выступов во впадины. Это изменяет форму и направления неровностей и позволяет уменьшить их размеры до предельных значений. Как показали электронно-микроскопические исследования на профиле шероховатости поверхности деталей после гидроабразивной обработки, обработки металлической дробью как и при шлифовании образуется субмикрощероховатость, размеры которой сравнимы с длинами волн падающего излучения.

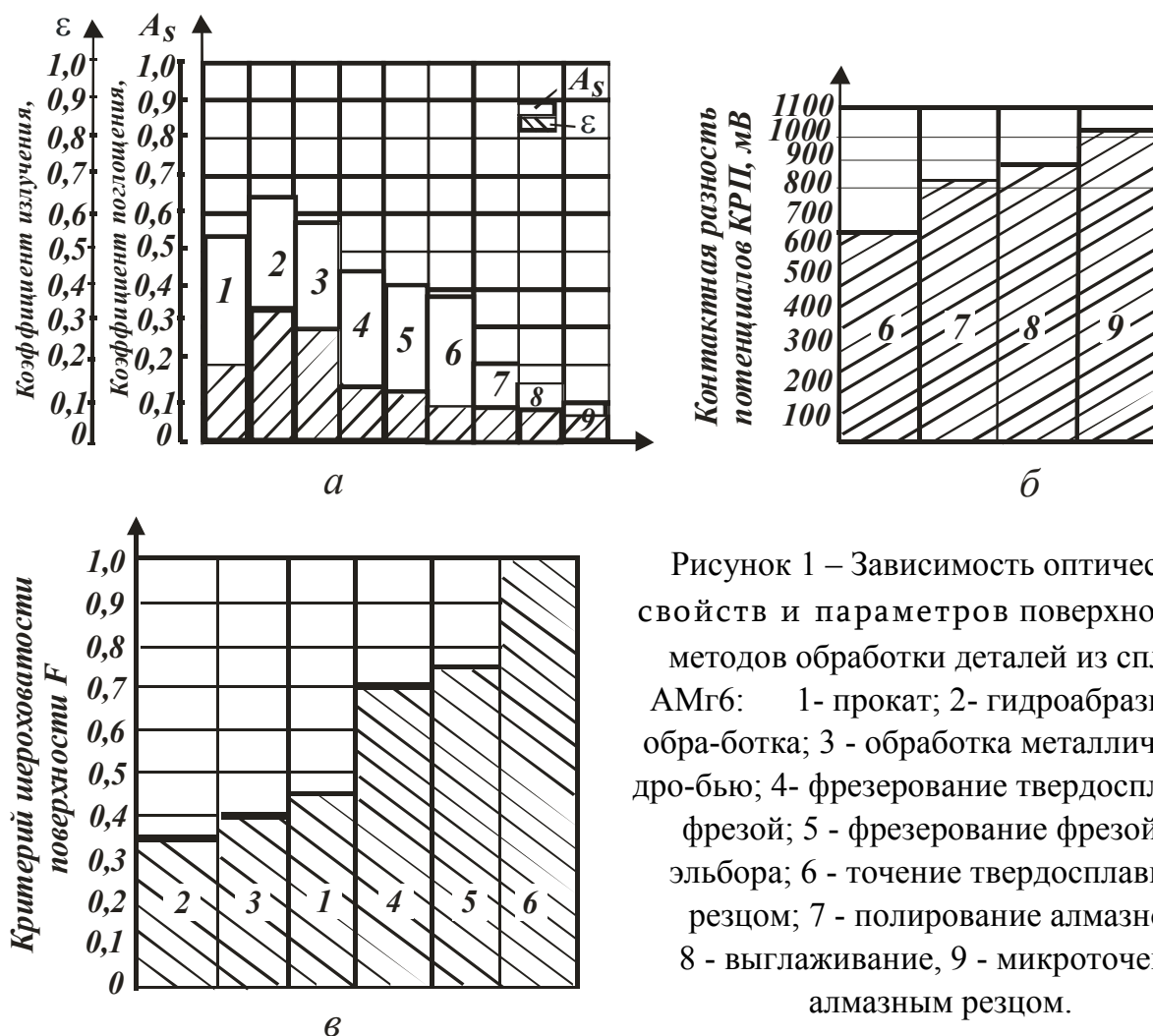


Рисунок 1 – Зависимость оптических свойств и параметров поверхности от методов обработки деталей из сплава АМгб: 1- прокат; 2- гидроабразивная обработка; 3 - обработка металлической дробью; 4- фрезерование твердосплавной фрезой; 5 - фрезерование фрезой из эльбора; 6 - точение твердосплавным резцом; 7 - полирование алмазное; 8 - выглаживание, 9 - микроточение алмазным резцом.

Так, на некоторых поверхностях образцов они достигали значений до 0,8-0,9 мкм. При гидроабразивной обработке, шлифовании, обработке металлической дробью формы и размеры выступов (впадин) профиля шероховатости различаются в зависимости от направления ощупывания. Порядок размеров неровностей имеет больший, чем при абразивном полировании, диапазон изменения. Количество неоднородностей геометрического характера соизмеримых с длинами волн падающего излучения, меньше при полировании, что можно объяснить снижением эффекта микрорезания, увеличением усилий резания. Изменение условий резания при лезвийной обработке, фрезеровании (по отношению к полированию) приводит к еще большему увеличению высоты неровностей (кроме алмазного точения). Однако форма и количество микронеровностей, соизмеримых с длинами волн падающего излучения, изменяется незначительно.

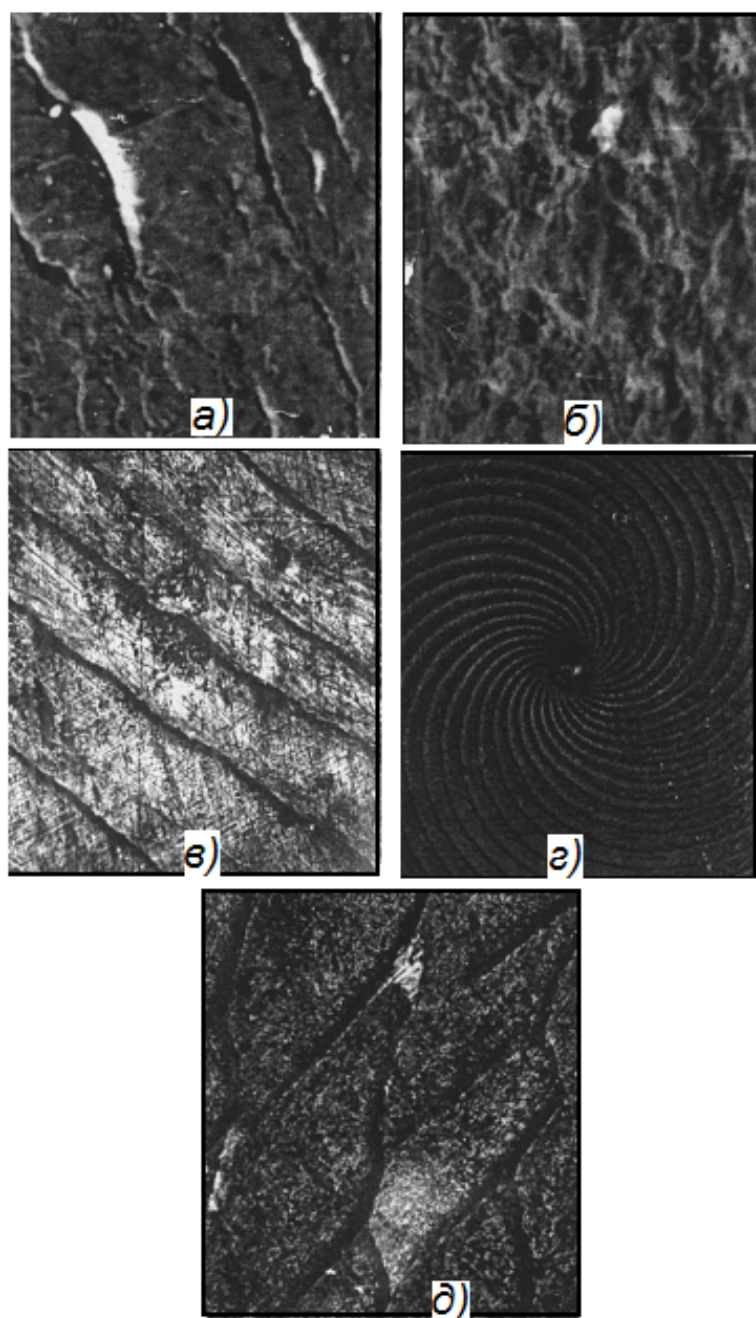


Рисунок 2 – Топология поверхности образцов из сплава АМгб после различной обработки: а) – прокат; б) – обработка металлической дробью; в), г), д) – рельеф поверхности после поверхностного пластического деформирования (ППД); а), б) – электронные снимки (х770).

Сглаживание поверхностного слоя при абразивной обработке зависит от величины нормальной составляющей силы резания, что подтверждается схемами обработки, применяемыми при изучении изменения критерия шероховатости поверхности, отношения  $R_a / R_{\max}$ , коэффициента поглощения и значений контактной разности потенциалов КРП. Величина критерия шероховатости на фрезерованных поверхностях имеет значения около 0,9.

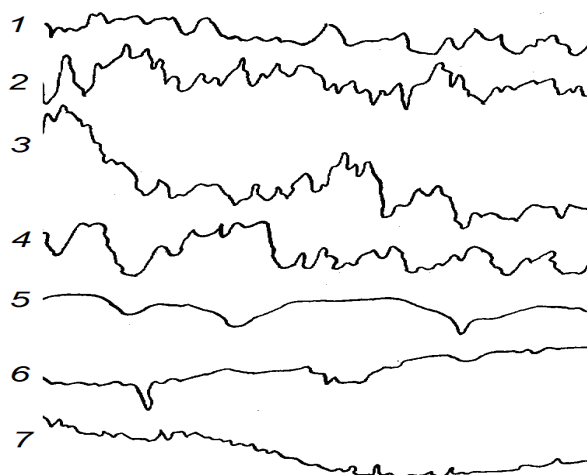


Рисунок 3 – Профилограммы поверхности образцов из сплава АМг6 при различных горизонтальном (ГУ) и вертикальном (ВУ) увеличениях:

1-прокат (200 и 10000); 2-гидроабразивная обработка (200 и 4000);  
 зуфрезерование (100 и 2000); 4- точение твердым сплавом (400 и 10000);  
 5-абразивное полирование (200 и 10000); 6- выглаживание (200 и 10000);  
 7-микроточение алмазом (200 и 100000).

Исследования геометрических характеристик поверхности после обработки ППД показали, что при малых усилиях вдавливания индентора происходит сглаживание микронеровностей исходной поверхности за счет деформации вершин выступов аналогично обкатыванию; с увеличением усилия образуется ровный микрорельеф со следами невыглаженных исходных микронеровностей на участках наиболее глубоких впадин. Дальнейшее увеличение усилия приводит к полному выглаживанию исходных микронеровностей и образованию полностью нового микрорельефа, высота, форма и расположение которого будут определяться критерием шероховатости, величина которого практически равна единице. Изменение структуры обработанной поверхности, а также появление в поверхностном слое сжимающих напряжений приводит к уменьшению количества неоднородностей поверхностного слоя и увеличению отражательной способности поверхности после ППД. При виброобкатывании, как установлено, можно получить различный характер микрорельефа поверхности деталей из алюминиевых сплавов, который практически не изменяет  $A_s$  и  $\varepsilon$ .

Рассмотрим вариант механизма образования поверхностей для изделий с высокой отражательной способностью.

Технологическое обеспечение поверхности лазерных зеркал с высокой отражательной способностью при длине волны 10,6 мкм, а также поверхностей деталей летательных аппаратов при длине волн падающего на поверхность излучения от 0,2 до 2,5 мкм связано с обеспечением на них максимальных значений КРП, т.е. создания поверхностей с необходимыми физико-химическими параметрами. Как видно из результатов

исследований (рис. 1), максимальных значений контактная разность потенциалов может быть достигнута абразивной обработкой (полирование, доводка), лезвийной обработкой (точение с применением сверхтвердых материалов, в том числе природных алмазов), поверхностным пластическим деформированием.

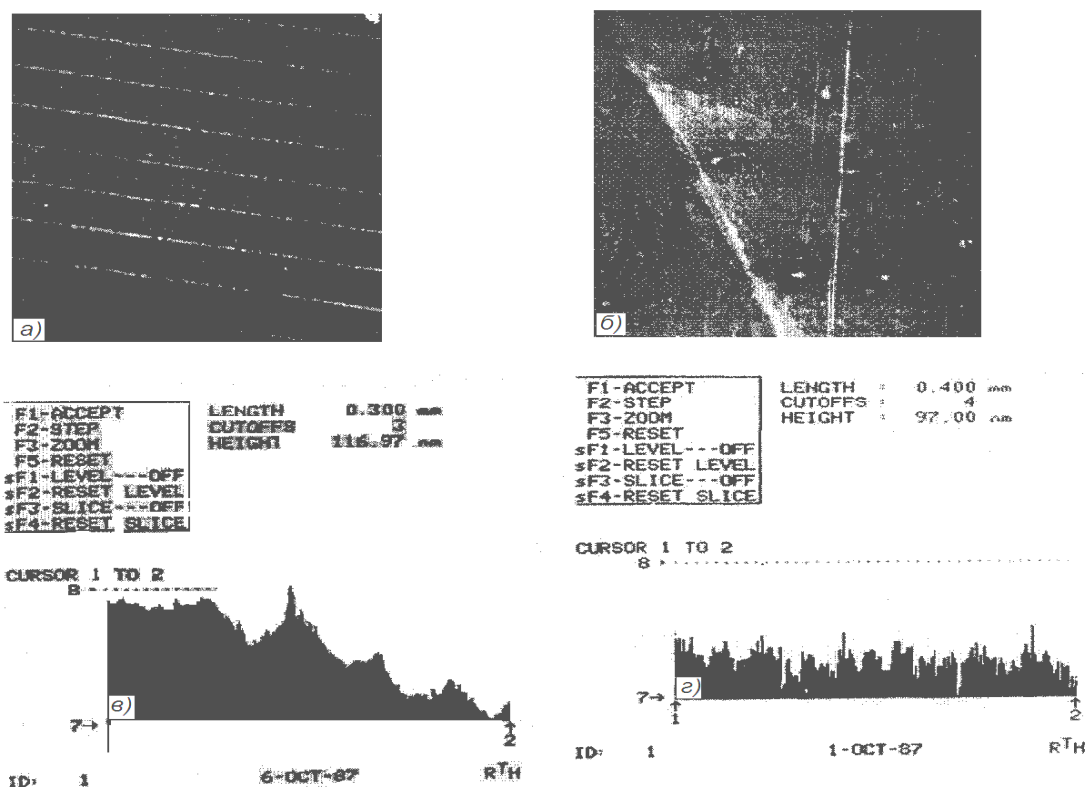


Рисунок 4 – Топология поверхности образцов из сплава АМгб после алмазного микроточения (а, в) и абразивного полирования (б, г): (а и б) – электронные снимки при увеличении (x1250); (в и г) – профилограммы.

Для обеспечения высокой отражательной способности (кроме механической обработки) можно использовать электрохимическое или химическое полирование, которые в силу специфики процесса создают металлические поверхности с благоприятной тонкой структурой, которая обеспечивает максимальные значения КРП.

В настоящее время для получения высокой отражательной способности лазерных зеркал из различных материалов (медь, алюминий и его сплавы, молибден и др.) применяются традиционные методы обработки резанием: лезвийная обработка – точение резцами из природных алмазов и обработка свободными абразивом – полирование (доводка) с применением смоляных полировальников и технологических сред, содержащих алмазные микропорошки. Нами изучен механизм образования поверхности с высокой отражательной способностью обработкой резанием на зеркалах из меди и алюминиевых сплавов. Было исследовано изменение параметров и оптических

характеристик поверхностей после точения природным алмазом и алмазного полирования, которые имели максимальные значения критерия шероховатости поверхности. После алмазного точения зеркал из алюминиевого сплава АМгб отражательная способность ( $\lambda = 10,6$  мкм) имела значения 96,6%, а после алмазного полирования – 92,6%. При этом значение коэффициента поглощения составляло 0,1 и 0,2 соответственно. Повышение отражательной способности поверхностей, обработанных точением алмазным инструментом, способствует благоприятное сочетание физико-химических свойств природного алмаза и обрабатываемых поверхностей, снижение интенсивности воздействия химически активных веществ, что приводит к уменьшению различного рода неоднородностей в двойном электрическом слое поверхности и уменьшает величину работы выхода электронов. На поверхности алюминиевого образца величина КРП составляет 1050–1100 мВ, а после полирования с применением алмазных микропорошков - около 880 – 900 мВ.

При абразивном полировании обрабатываемая поверхность адсорбирует химически активные вещества, содержащиеся в технологических средах, и кислород воздуха, что оказывает влияние на развитие химико-механических явлений, сопровождающих пластическое деформирование микровыступов поверхности. Процесс адсорбции интенсифицируется при механическом снятии пленок окислов с поверхности, что обеспечивается относительным изменением контакта полировальника и обрабатываемой поверхности.

При изучении топологии поверхностей образцов из сплава АМгб после точения алмазным инструментом и абразивного полирования обнаружены значительные различия (рис. 4). На полированных поверхностях, кроме следов абразивных зерен, имеется большое количество мелких точек «ряби», которые отсутствуют на поверхности, обработанной точением. Наличие "ряби", видимо, является результатом взаимодействия органических компонентов полирующих составов, абразивных зерен и обрабатываемой поверхности. На поверхности, обработанной точением могут наблюдаться следы резца глубиной 0,1-0,2 мкм и шириной 60 мкм, склоны гладкие, почти отсутствуют неровности, соизмеримые с длинами волн падающего излучения.

Значительные различия состояния поверхностей после точения и полирования подтверждаются и рентгенографическими исследованиями. После абразивного полирования поверхность деформирована в меньшей степени, чем после алмазного точения. Однако химическая активность алюминия на воздухе и шаржирование поверхности абразивом образуют субструктуру в виде конгломерата окислов металла, осколков абразивных зерен, соединений щелочных металлов. После алмазного точения поверхность деформирована в большей степени, химический состав ее также неоднороден. Однако в виду отсутствия шаржирования поверхности, а также меньшей степени ее окисления субструктура



поверхности имеет меньше дефектов и нарушения в двойном электрическом слое минимальны, работа выхода электрона минимальна.

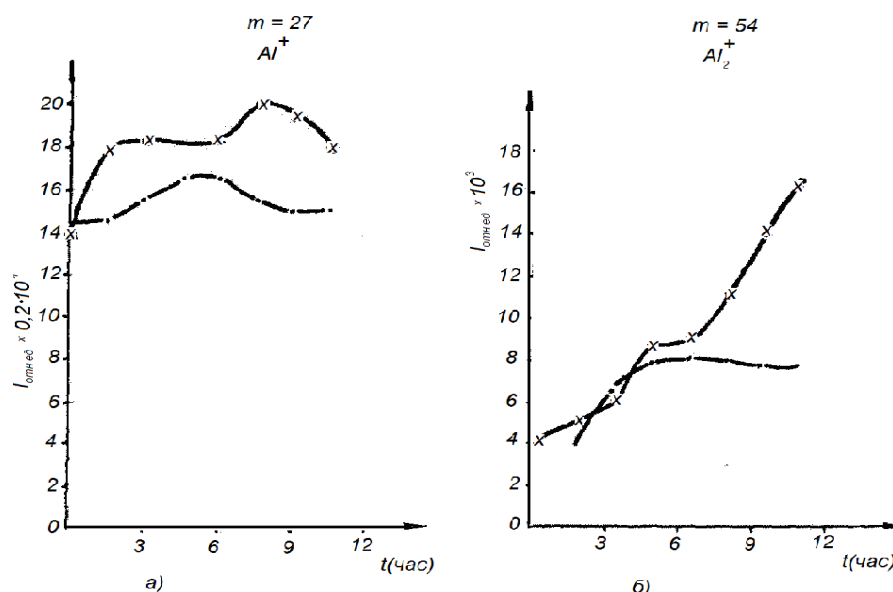


Рисунок 5 – Зависимость тока вторичных ионов  $Al^+$  (а),  $Al_2^+$  (б) от времени бомбардировки поверхности после различных видов обработки:

—•—•— механическое  
 — полирование  
 —x—x— алмазное точение

Для определения гетерогенных веществ и других примесей, не относящихся к основному материалу, а образующихся в процессе обработки, поверхности исследовали методами масс- и оптической спектроскопией (рис. 5).

**Выводы.** На светоотражательную способность поверхностей оказывает влияние микрорельеф, формирующий шероховатость поверхности со значением критерия  $F < 1$ , а для поверхностей со значением  $F$ , равным или близким к единице, необходимо контролировать параметры физико-химического состояния, например, оценкой работы выхода электронов, т.е. оценкой контактной разности потенциалов. Сглаживание неровностей на поверхности можно контролировать отношением  $R_a / R_{\text{max}}$ .

**Список литературы:** 1. Качество поверхности при алмазно-абразивной обработке / Э.В. Рыжов, А.А. Сагарда, В.Б. Ильицкий, И. Х. Чеповецкий. – Киев: Наук. думка, 1979. – 244 с. 2. Шкурупий В. Г., Дудко П. Д., Назаров Ю. Ф. Эффективность применения финишных методов обработки материалов. – Киев: ДНТП, 1979. – 24с. 3. Шкурупий В.Г., Назаров Ю.Ф., Колоскова Е. К. Эксплуатационные свойства деталей после абразивной обработки // Пути повышения производительности, качества и эффективности процессов абразивной эльборовой обработки: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. – М., 1976. – С. 63-66. 4. Обработка деталей с высокой отражательной способностью с применением сверхтвердых материалов / Дудко П.Д., Назаров Ю.Ф., Коваленко В.С. и др. // Сверхтвердые материалы: Тезисы докладов Международного семинара. – Киев: АН УССР, 1981. – С. 21-22.